

BUNDE REPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 24 NOV 2003

WIPO

PCT

EP 03 / 10054

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen: 102 41 988.4

Anmeldetag: 11. September 2002

Anmelder/Inhaber: TUI Laser AG, Germering /DE

Bezeichnung: Diodengepumpter Festkörperlaser mit resonatorin-
terner thermischer Linse

IPC: H 01 S 3/08

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schoh

Rösler

Patentanwaltskanzlei

urpatent®

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Deutsches Patent- und Markenamt

Zweibrückenstr. 12

80297 München

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.*

Patentanwälte,
European Patent Attorneys,
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120
Telefax: +49/(0)89/820 477 121
email: ur@urpatent.com

11.09.2002, Rö/He
Unser Zeichen: TUIL102R08

Neue Deutsche Patentanmeldung

Anmelder:

TUI Laser AG
Industriestr. 15, 82110 Germering

Diodengepumpter Festkörperlaser mit resonatorinterner thermischer Linse

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf einen diodengepumpten Festkörperlaser mit einem über wenigstens zwei Resonatorspiegel verfügenden, asymmetrischen optischen Resonator, der wenigstens eine resonatorinterne thermische Linse mit einer optischen Brechkraft D vorsieht.

Stand der Technik

Diodengepumpte Festkörperlaser stellen leistungsstarke, kompakte Lichtquellen dar, die durch die fortschreitende Entwicklung von Laserdioden als Pumplichtquellen beachtlich an Bedeutung gewonnen haben. So sind mittlerweile Laserdioden

erhältlich, die über Pumplichtleistungen von 10 W und mehr und darüber hinaus über Emissionswellenlängenspektren verfügen, die im Bereich der optischen Absorptionsbanden für Festkörperlaser geeignete Laserkristalle liegen, wodurch eine höchst effiziente optische Anregung der Laserkristalle erzielbar ist.

Diodengepumpte Festkörperlaser eignen sich grundsätzlich für eine Vielzahl unterschiedlicher technischer Anwendungsgebiete, bevorzugt werden sie in jenen Bereichen eingesetzt, in denen leistungsstarke, und eine kleine Bauform aufweisende Lasersysteme erwünscht sind. Bspw. werden derartige monochromatische Lichtquellen zur Materialbearbeitung, vorzugsweise zur Oberflächenmaterialbearbeitung, wie Materialabtrag, Materialveränderung oder Oberflächenveredelung eingesetzt.

Im Bestreben, die Laserleistungen diodengepumpter Festkörperlaser weiter zu optimieren gilt es in besonderer Weise auf die Stabilität des Laserresonator bestimmende Parameter zu achten, die sich nicht nur aus den reinen Geometrieparametern des Resonators selbst zusammensetzen, wie die Krümmungsradien R_1 und R_2 der Resonatorendspiegel sowie deren gegenseitiger Abstand L , sondern zusätzlich das optische Brechkraftverhalten des optisch gepumpten Laserkristalls mit einschließen. Letzteres ist jedoch keine konstante Größe, sondern hängt in entscheidendem Maße von der Temperatur ab, die sich in erster Linie durch die von der Pumplichtintensität innerhalb des Laserkristalls hervorgerufenen Erwärmung ergibt.

Zur Beschreibung des optischen Brechkraftverhaltens eines optisch gepumpten Laserkristalls bedient man sich üblicherweise der Vorstellung über eine optische Linse, deren Brechkraft D von der Temperatur abhängt und zur geometrischen Beschreibung über wenigstens eine Hauptebene verfügt. Zusammen mit den geometrischen Resonatorgrößen lassen sich die Stabilitätskriterien eines derartigen Resonators mit einer intrakavitären thermischen Linse - in diesem Zusammenhang ist auch die Verwendung des Begriffes „aktiver Resonator“ gebräuchlich -, unter Verwendung der sog. G-Faktoren wie folgt formulieren:

$$G_1 = 1 - L^*/R_1 - D \cdot d_2$$

$$G_2 = 1 - L^*/R_2 - D \cdot d_1$$

und $L^* = d_1 + d_2 - D \cdot d_1 \cdot d_2$

In den vorstehenden Beziehungen entsprechen L^* der effektiven Resonatorlänge sowie d_1 und d_2 den Abständen der Resonatorspiegel von den Hauptebenen der thermischen Linse. R_1 und R_2 entsprechen den Krümmungsradien der Resonatorspiegel. Weitere Einzelheiten hierzu sind aus dem Buch von W. Koechner, „Solid State Laser Engineering“, 5. Aufl., Seite 210 ff. zu entnehmen.

Zur Beschreibung eines stabilen aktiven Resonators gilt für G_1 und G_2 die Bedingung: $0 < G_1 G_2 < 1$. Trägt man die linear von der Brechkraft D abhängigen Faktoren G_1 und G_2 zur graphischen Darstellung in ein Stabilitätsdiagramm ein, wie es aus dem vorstehend zitierten Buch von Koechner auf S. 213 in Figur 5.13 hervorgeht, so liegen die G -Parameter eines vorgegebenen Resonators, der durch die Geometrieparameter R_1 , R_2 sowie L (tatsächlicher Abstand zwischen den Resonatorspiegeln) definiert ist, bei variabler Brechkraft D auf einer Geraden.

Ein derartiges Stabilitätsdiagramm ist in Figur 2 dargestellt, längs dessen Abszisse G_1 und längs dessen Ordinate G_2 aufgetragen sind.

Geht man vom einfachsten Fall eines optischen Resonators mit intrakavitärer thermischer Linse aus, deren Brechkraft sich nicht ändert, so ließe sich ein derartiger Resonator durch einen einzigen Punkt innerhalb des Stabilitätsdiagramm beschreiben.

Im Gegensatz hierzu werden durch bestimmte Geometrieparameter definierte Resonatoren, die insbesondere über einen asymmetrischen Resonatoraufbau verfügen, d.h. die Krümmungsradien der Resonatorspiegel unterscheiden sich voneinander, durch Geraden beschrieben, siehe hierzu die Geraden AS1 und AS2, doch bestimmt sich das Stabilitätsverhalten dieser Resonatoren durch die

temperaturabhängige Brechkraft D , die im einzelnen unterschiedlichen kritische Brechkräfte D_I , D_{II} , D_{III} und D_{IV} annehmen kann.

Es zeigt sich, dass ein asymmetrischer Resonator mit intrakavitärer thermischer Linse längs einer Geraden AS1 bzw. AS2 innerhalb zwei getrennter Bereiche ein stabiles Schwingungsverhalten zeigt. Beide stabile Schwingungsbereiche sind in Bezug auf die Brechkraft gleich groß bzw. breit ausgebildet. Für das Stabilitätsverhalten eines derartigen asymmetrischen Resonators erweisen sich die Bereichsgrenzen, die sog. kritischen Brechkräfte D_I , D_{II} , D_{III} sowie D_{IV} als besonders relevant. So kennzeichnen die kritischen Brechkräfte eben jene Übergangsstellen, an denen das stabile Schwingungsverhalten eines asymmetrischen Resonators bei Über- bzw. Unterschreiten der kritischen Brechkraft instabil wird. Die stabilen Bereiche sind in Figur 2 durch entsprechende Schraffuren jeweils unter den Hyperbeln dargestellt.

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Ausführungen lässt sich der in der US 5,638,397 beschriebene diodengepumpte Festkörperlaser mit einer konfokal zu konzentrisch ausgebildeten Resonatoranordnung entsprechend charakterisieren. So zeichnet sich der in der vorstehenden Druckschrift beschriebene diodengepumpte Festkörperlaser durch einen weitgehend symmetrischen Resonatoraufbau aus, der Resonatortypen umfasst, die neben reinen symmetrischen Resonatoren auch jene asymmetrischen Resonatortypen mit einschließt, die über ein sehr nahes an konfokalen Resonatoren eigentümliches Stabilitätsverhalten verfügen, d.h. das Resonatorverhalten derartiger Resonatoren ist durch G-Werte beschreibbar, die sehr nahe am Ursprung des Stabilitätsdiagramms liegen.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen diodengepumpten Festkörperlaser mit einem über wenigstens zwei Resonatorspiegel verfügenden, asymmetrischen optischen Resonator, der wenigstens eine resonatorinterne thermische Linse mit einer optischen Brechkraft D vorsieht, derart auszubilden, dass die Baugröße des Resonators verkleinert, insbesondere die Resonatorlänge verkürzt werden soll, um

einen äußerst kompakten Resonatoraufbau zu erhalten. Zugleich sollen zeitlich kurze Pulse von weniger als 100 Nanosekunden, vorzugsweise kleiner 10 ns, mit sehr hohen Pulsspitzenleistungen erreichbar sein, und dies bei möglichst hohen Repititionsraten von bis zu 150 kHz. Ziel ist es einen möglichst kompakten Laser, vorzugsweise zur Materialbearbeitung zu schaffen, mit dem Materialoberflächen bearbeitet werden sollen, bspw. zu Zwecken der Gravur, die zur erfolgreichen Materialbearbeitung eine kritische Leistungsdichte voraussetzen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Vorteilhafte Merkmale, die den Erfindungsgedanken ausbilden, sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

Erfindungsgemäß ist ein diodengepumpter Festkörperlaser gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 derart ausgebildet, dass die Größen d_1 , d_2 , R_1 und R_2 derart gewählt sind, dass bei folgenden kritischen Brechkraften D_I , D_{II} , D_{III} und D_{IV} , für die gilt

$$D_I = -\frac{1}{R_1 - d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{II} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{R_1 - d_1}, \quad D_{III} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{IV} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}$$

folgende Beziehungen erfüllt sind:

$$D_{II} - D_I = D_{IV} - D_{III} \geq 8 \text{ dptr.}$$

$$|D_{III} - D_{II}| \geq 2 \text{ dptr.}$$

Im Unterschied zu den bislang üblichen Resonatorbauformen, die sich durch symmetrische oder weitgehend symmetrische Resonatorformen auszeichnen, wie es bspw. aus der eingangs zitierten US 5,638,397 hervorgeht, ist erfindungsgemäß erkannt worden, dass durch eine bewusst asymmetrische Resonatorbauform, vorzugsweise in Art eines konvex-planen, konvex-konkaven oder konvex-konvexen Resonatortyps, und unter Verwendung eines als resonatorinterne thermische Linse wirkenden Laserkristalls eine höchst kompakte, diodengepumpte Festkörperlaseranordnung realisierbar ist, die Nanosekundenpulse bei sehr hohen Pulsspitzenleistungen und bei hohen Repititionsraten zu erzeugen in der Lage ist.

Die kritischen Brechkräfte D_I und D_{II} begrenzen einen ersten Bereich, innerhalb dem der erfindungsgemäß ausgebildete diodengepumpte Festkörperlaser bei sich ändernden Brechkraftwerten stabil schwingt. Dies gilt ebenso für die Brechkraftgrenzen D_{III} und D_{IV} , die als kritische Brechkräfte den zweiten stabilen Bereich begrenzen, innerhalb dem der asymmetrische Resonator stabile Schwingungseigenschaften aufweist. Erfindungsgemäß wird nun von der thermischen Linse in Form des Laserkristalls gefordert, dass die erlaubten Brechkraftbereiche, innerhalb der der Resonator stabil arbeitet, einen Dioptriebereich von wenigstens 8 Dioptrie überdeckt. Zudem gilt es die unmittelbar benachbarten Bereichsgrenzen beider Brechkraftbereiche D_{II} und D_{III} derart zu wählen, dass ihr gegenseitiger Abstand längs der Brechkraftskala wenigstens 2 Dioptrie entspricht. Hier gilt es zwei Fälle zu unterscheiden, nämlich jene, in denen sich die beiden erlaubten Brechkraftbereiche nicht überlappen und durch wenigsten 2 Dioptrien voneinander beabstandet sind, siehe hierzu die Gerade AS1 in Fig. 2, sowie jenen anderen Fall, bei dem sich beide Brechkraftbereiche derart überlappen, dass die kritischen Brechkräfte D_{II} und D_{III} den vorstehend beschriebenen Mindestabstand von wenigstens 2 Dioptrien einhalten, siehe Gerades AS2 in Figur 2.

Durch die letztgenannte Maßgabe, d.h. $|D_{II} - D_{III}| > 2$, ist der Mindestgrad der asymmetrischen Ausprägung des Resonators, nicht zuletzt bedingt durch die thermische Linse definiert.

Typischer Weise wird der intrakavitäre Laserkristall longitudinal, d. h. in Richtung seiner Längserstreckung mit Hilfe eines Diodenlasers kontinuierlich gepumpt. Um möglichst kurzzeitige Lichtpulse bei hohen Spitzenleistungen, insbesondere bei hohen Repititionsraten von bis zu 150 kHz zu erzeugen, ist innerhalb des Resonators ein akustooptischer oder elektrooptischer Q-Switch-Schalter vorgesehen. Alternativ ist ein extrakavitärer Modulator vorzusehen, bspw. in Form einer hochfrequent arbeitenden Shutterblende oder eines akustooptischen Modulators, die bzw. der zu ähnlichen kurzzeitigen Lichtimpulsen führen.

Besonders geeignete Laserkristalle, die über starke thermische optische Fokussiereigenschaften verfügen und somit die gewünschte thermische Linsenwirkung erzielen, stellen mit Nd-, Yb-, Cr-, Tm-, Ho- oder Er-dotierte Wirtskristalle dar. Grundsätzlich eignen sich mit entsprechenden Dotierkonzentrationen folgende Wirtskristall-Dotierstoffverbindungen:

Nd:YAG, Nd:YVO₄, Nd:YLF, Nd:GVO₄, Nd:YPO₄, Nd:BEL, Nd:YALO, Nd:LSB, Yb:YAG, Yb:FAB, Cr:LiSAF, Cr:LiCAF, Cr:LiSGAF, Cr:YAG, Tm-Ho:YAG, Tm-Ho:YLF, Er:YAG, Er:YLF oder Er:GSGG.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 schematischer Aufbau eines diodengepumpten Festkörperlaser
 sowie
Fig. 2 Stabilitätsdiagramm.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

In Figur 1 ist ein schematischer Aufbau eines erfindungsgemäß ausgebildeten diodengepumpten Festkörperlaser dargestellt. Mit Hilfe eines Diodenmoduls 1, das monochromatisches Licht bei einer Wellenlänge von 808 Nanometern zu emittieren vermag, wird das Laserlicht über eine Lichtleitfaser 2 und eine Abbildungsoptik 3 über einen teildurchlässigen Spiegel 4 longitudinal in den intrakavitär vorgesehen Laserkristall 5 eingekoppelt. Der Laserkristall 5 besteht aus einem Nd:YVO₄-Kristall, der über einen besonders günstigen optischen Wirkungsgrad verfügt. Der schematisiert dargestellte Resonator weist zwei Resonatorspiegel 6, 7 auf, die über unterschiedliche Krümmungsradien verfügen. Ebenso ist intrakavitär ein akustooptischer Modulator 8, in Form eines Q-Switch-Schalters vorgesehen, der

Repetitionenraten von bis zu 150 kHz mit zeitlichen Pulsbreiten von wenigstens 3 Nanosekunden erzeugt.

Selbstverständlich ist es möglich, den Laserkristall 5 auch von einer zweiten Pumplichtquelle optisch zu pumpen, die den in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel rechts zum Umlenkspiegel 9 vorgesehen sein könnte. Der Laserkristall 5 weist ein thermisches Brechkraftverhalten derart auf, dass für die kritischen Brechkraften D_I , D_{II} , D_{III} sowie D_{IV} , für die gilt

$$D_I = -\frac{1}{R_1 - d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{II} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{R_1 - d_1}, \quad D_{III} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{IV} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}$$

folgende Beziehungen erfüllt sind:

$$D_{II} - D_I = D_{IV} - D_{III} \geq 8 \text{ dptr.}$$

$$|D_{III} - D_{II}| \geq 2 \text{ dptr.}$$

Ein derart konvektionierter diodengepumpter Festkörperlaser, der mit einer Diodenleistung von wenigstens 10 W optisch gepumpt wird, ist in der Lage, Pulsspitzenleistungen PP in Abhängigkeit von der Pulswiederholfrequenz RF gemäß der nachstehenden Tabelle zu erzielen:

RF [kHz]	PP [kW]
10	> 60
30	> 30
60	> 10
90	> 5

Überdies können Pulsweiten PW bei Pulswiederholfrequenzen RF in der nachstehenden Weise erzielt werden:

RF [kHz]	PW [ns]
10	~ 7
20	~ 10
30	~ 14
50	~ 18
75	~ 22
100	~ 28
150	~ 35

Bezugnehmend auf das in Figur 2 dargestellte Stabilitätsdiagramm seien auf die Geraden AS1 und AS2 hingewiesen. Die Gerade AS1 repräsentiert das Stabilitätsverhalten eines aktiven Resonators, dessen Laserkristall zwei voneinander beabstandete Stabilitätsbereiche aufweist, mit $D_{III} > D_{II}$.

Ebenso ist jedoch auch ein aktiver asymmetrischer Resonator stabil schwingungsfähig, für den gilt $D_{II} < D_{III}$, wie dies die Gerade AS2 in Figur 2 angibt.

Bezugszeichenliste

- 1 Diodenlasermodule
- 2 Lichtleitfaser
- 3 Optisches Abbildungssystem
- 4 teildurchlässiger Spiegel
- 5 Laserkristall
- 6, 7 Resonatorspiegel
- 8 akustooptischer Modulator
- 9 teildurchlässiger Spiegel

Patentansprüche

1. Diodengepumpter Festkörperlaser mit einem über wenigstens zwei Resonatorspiegel verfügenden, asymmetrischen optischen Resonator, der wenigstens eine resonatorinterne thermische Linse mit einer optischen Brechkraft D und jeweils zwei Hauptebenen vorsieht und durch folgende Stabilitätskriterien beschreibbar ist:

$$0 < G_1 \cdot G_2 < 1$$

mit $G_1 = 1 - L^*/R_1 - D \cdot d_2$

$$G_2 = 1 - L^*/R_2 - D \cdot d_1$$

und $L^* = d_1 + d_2 - D \cdot d_1 \cdot d_2$

d_1, d_2 : Abstände der Resonatorspiegel von den Hauptebenen der thermischen Linse

R_1, R_2 Krümmungsradius der Resonatorspiegel

dadurch **gekennzeichnet**, dass die Größen d_1, d_2, R_1 und R_2 derart gewählt sind, dass bei folgenden kritischen Brechkraften D_I, D_{II}, D_{III} und D_{IV} , für die gilt

$$D_I = -\frac{1}{R_1 - d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{II} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{R_1 - d_1}, \quad D_{III} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{IV} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}$$

folgende Beziehungen erfüllt sind:

$$D_{II} - D_I = D_{IV} - D_{III} \geq 8 \text{ dptr.}$$

$$|D_{III} - D_{II}| \geq 2 \text{ dptr.}$$

2. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein intrakavitärer Güteschalter oder ein extrakavitärer Modulator vorgesehen ist.

3. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Güteschalter ein intrakavitärer akustooptischer oder elektrooptischer Q-Switch-Schalter ist.
4. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass der asymmetrische optische Resonator einen konvex-planen, konvex-konkaven oder konvex-konvexen Resonatoraufbau aufweist.
5. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass intrakavitär ein Lasermedium in Form wenigstens eines Laserkristalles vorgesehen ist, der mit einem oder mehreren der folgenden Dotierstoffen dotiert ist: Nd, Yb, Cr, Tm, Ho oder Er.
6. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Laserkristall aus folgenden dotierten Kristallen besteht: Nd:YAG, Nd:YVO₄, Nd:YLF, Nd:GVO₄, Nd:YPO₄, Nd:BEL, Nd:YALO, Nd:LSB, Yb:YAG, Yb:FAB, Cr:LiSAF, Cr:LiCAF, Cr:LiSGAF, Cr:YAG, Tm-Ho:YAG, Tm-Ho:YLF, Er:YAG, Er:YLF oder Er:GSGG.
7. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 5 oder 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Laserkristall über starke thermische optische Fokussiereigenschaften verfügt und die thermische Linse innerhalb des Resonators darstellt.
8. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass wenigstens eine Diodenlasereinheit als Pumplichtquelle vorgesehen ist, deren Pumplicht längs zur optischen Achse der thermischen Linse gerichtet oder gelenkt ist.

9. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass unter Verwendung eines Nd:YVO₄ Laserkristalls und einer Pumplichtleistung von wenigstens 10 Watt folgende Pulspitzenleistungen PP in Abhängigkeit von der Pulswiederholfrequenz RF, bei der der Festkörperlaser betreibbar ist, erzielbar sind:

RF [kHz]	PP [kW]
10	> 60
30	> 30
60	> 10
90	> 5

10. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass die vom Festkörperlaser emittierten Laserpulse folgende Pulsweiten PW bei Pulswiederholfrequenzen RF aufweisen:

RF [kHz]	PW [ns]
10	~ 7
20	~ 10
30	~ 14
50	~ 18
75	~ 22
100	~ 28
150	~ 35

Zusammenfassung

Beschrieben wird ein diodengepumpter Festkörperlaser mit einem über wenigstens zwei Resonatorspiegel verfügenden, asymmetrischen optischen Resonator, der wenigstens eine resonatorinterne thermische Linse mit einer optischen Brechkraft D und jeweils zwei Hauptebenen vorsieht und durch folgende Stabilitätskriterien beschreibbar ist:

$$0 < G_1 \cdot G_2 < 1$$

mit $G_1 = 1 - L^*/R_1 - D \cdot d_2$

$$G_2 = 1 - L^*/R_2 - D \cdot d_1$$

und $L^* = d_1 + d_2 - D \cdot d_1 \cdot d_2$

d_1, d_2 : Abstände der Resonatorspiegel von den Hauptebenen der thermischen Linse

R_1, R_2 : Krümmungsradius der Resonatorspiegel

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Größen d_1, d_2, R_1 und R_2 derart gewählt sind, dass bei folgenden kritischen Brechkraften D_I, D_{II}, D_{III} und D_{IV} , für die gilt

$$D_I = -\frac{1}{R_1 - d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{II} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{R_1 - d_1}, \quad D_{III} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{R_2 - d_2}, \quad D_{IV} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}$$

folgende Beziehungen erfüllt sind:

$$D_{II} - D_I = D_{IV} - D_{III} \geq 8 \text{ dptr.}$$

$$|D_{III} - D_{II}| \geq 2 \text{ dptr.}$$

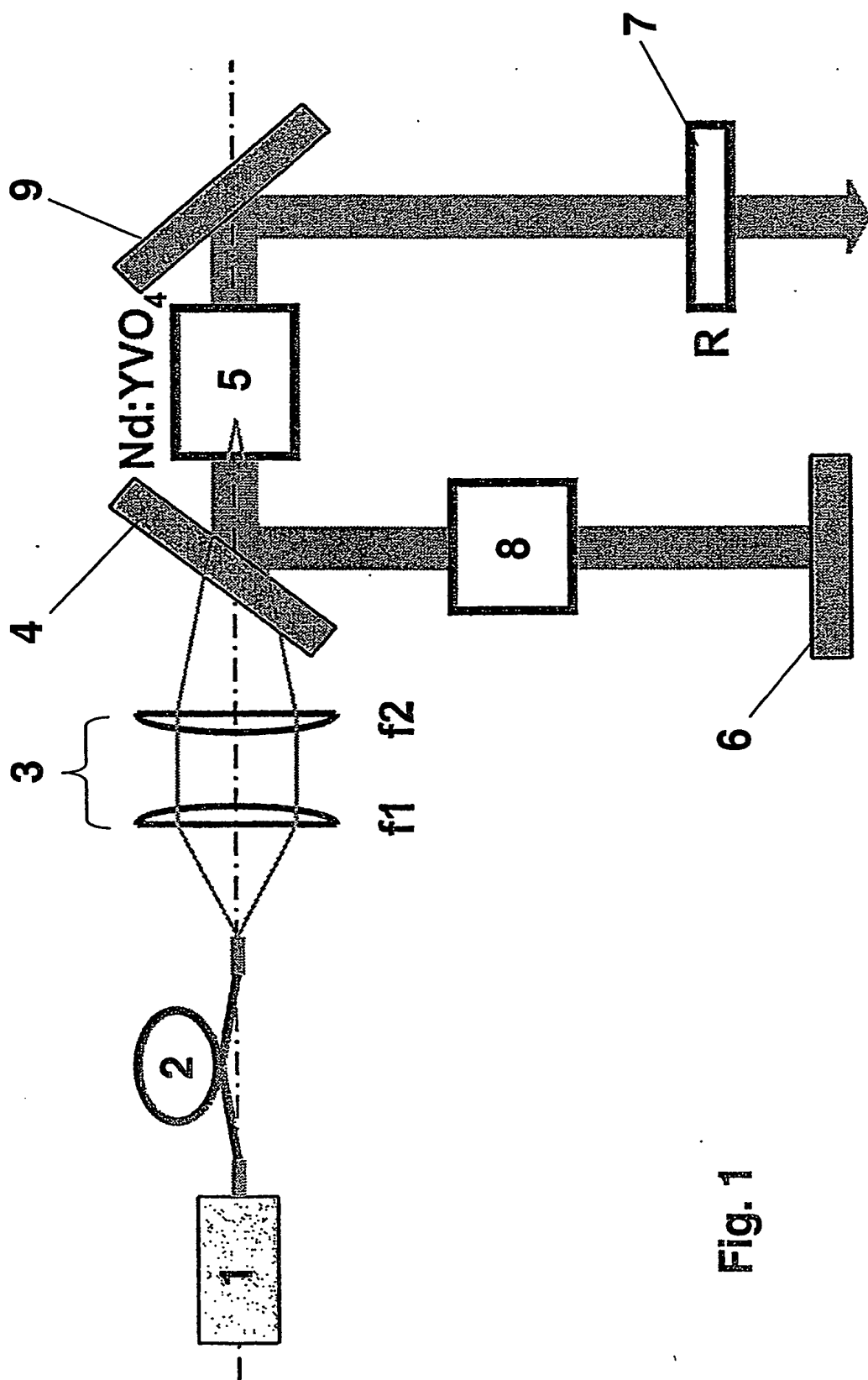


Fig. 1

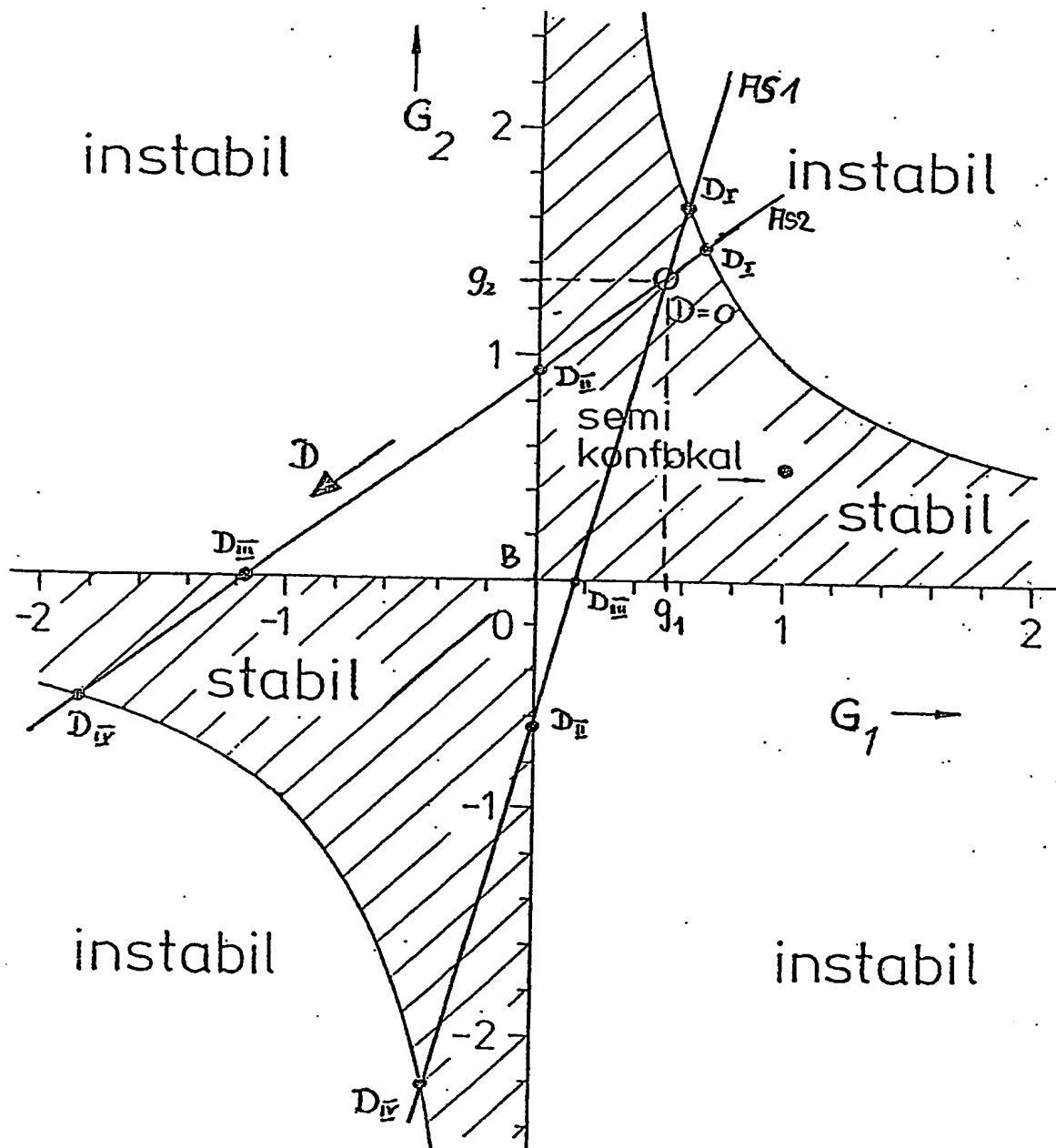


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.